

## DE19715702

Publication Title:

Verfahren zum selektiven Abtragen einer oder mehrerer Schichten

Abstract:

Abstract of DE19715702

The invention relates to a method for removing one or several layers by laser, with self-regulating process limitation. According to the invention, the removal takes place during short periods of interaction with laser light of such a wavelength that it is so heavily absorbed by one part of the total composite (either the part which is being removed or the part which is being retained), that the removal threshold of the material concerned is exceeded, and the absorption of laser light of the same intensity by the other part of the total composite (the part which is being retained or the part which is being removed) is so low that this removal threshold is not reached. Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

-----  
Courtesy of <http://v3.espacenet.com>



②① Aktenzeichen: 197 15 702.5  
②② Anmeldetag: 15. 4. 97  
④③ Offenlegungstag: 22. 10. 98

⑦① Anmelder:  
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der  
angewandten Forschung e.V., 80636 München, DE

⑦② Erfinder:  
Wiedemann, Günther, Dr.-Ing., 01237 Dresden, DE;  
Panzer, Michael, Dr.rer.nat., 01324 Dresden, DE;  
Hauptmann, Jan, 02739 Eibau, DE

⑤⑥ Entgegenhaltungen:

DE 1 95 18 868 A1  
DE 43 20 895 A1  
DE 40 34 834 A1  
US 42 56 765  
EP 02 33 755 A  
EP 0 38 03 87B  
= DE 69 0 16 05 1T2

NN: "Surface cleaning by UV laser radiation  
becomes economical", in: Highlights, & Publica-  
tion by Lambda Physik GmbH, Göttingen, Mai 1995,  
S. 1-5;

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Verfahren zum selektiven Abtragen einer oder mehrerer Schichten

⑤⑦ Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Abtragen einer  
oder mehrerer Schichten mittels Laser mit selbstregulie-  
render Prozeßbegrenzung.  
Erfindungsgemäß erfolgt dabei das Abtragen während  
kurzer Wechselwirkungszeiten mit Laserlicht einer sol-  
chen Wellenlänge, daß das Laserlicht von dem einen Teil  
des Gesamtverbundes (entweder der abzutragende oder  
der zu erhaltende Teil) so stark absorbiert wird, daß die  
Abtragschwelle des jeweiligen Materials überschritten  
wird und daß die Absorption des Laserlichtes bei gleicher  
Intensität von dem jeweiligen anderen Teil (entweder der  
zu erhaltende oder der abzutragende Teil) des Gesamtver-  
bundes so gering ist, daß diese Abtragungsschwelle nicht  
erreicht wird.

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum selektiven Abtragen einer oder mehrerer Schichten.

Das technische Anwendungsgebiet der Erfindung umfaßt Aufgaben zum Entfernen von Schichten von einem zu erhaltenden Untergrund im technischen und restauratorischen Bereich. Insbesondere geht es darum, Schichten, wenn nötig lokal begrenzt, aber in jedem Falle ohne nachteilige Beeinträchtigung der Eigenschaften der Oberfläche, auf der sich die zu entfernende Schicht befindet, abzutragen.

Das Abtragen mittels Laser kann nach mehreren Mechanismen erfolgen. Teilweise wirken die nachfolgend geschilderten Mechanismen im Komplex.

Dominierender Prozeß ist das Abtragen durch schichtenweises Verdampfen der zu beseitigenden Schicht mittels kurzer Laserimpulse. Die Pulszahl wird in Abhängigkeit von der Schichtdicke und der Abtragsrate (z. B. abzutragendes Volumen/Zeit) so gewählt, daß die Oberfläche freigelegt wird (Fig. 1). Das Laserabtragen kann jedoch auch durch thermisch induzierte Schockwellen, z. B. bei spröden Materialien, erfolgen bzw. dadurch unterstützt werden (Fig. 2). Dieses Verfahren ist Gegenstand der EP 0 380 387 B bzw. DE 690 16 051 T2.

Weitere Möglichkeiten der Entschichtung sind bei einer Reihe vorkommender Schichtsysteme dann gegeben, wenn sich die thermischen Eigenschaften, insbesondere die Ausdehnungskoeffizienten der zu entfernenden Schicht und des Untergrundes stark voneinander unterscheiden. Der Abtrag bzw. das Entschichten erfolgt dann durch Abplatzen von Teilen der Schicht infolge der mittels Laser erzeugten Thermospannungen (Fig. 3).

Gute Voraussetzungen für ein selektives Entschichten ohne Beeinträchtigung des Untergrundes bestehen auch dann, wenn die Schmelz bzw. Verdampfungstemperaturen der mittels Laser abzutragenden Schicht deutlich unter der Schmelz- bzw. Verdampfungstemperatur des zu erhaltenden Untergrundes liegt (Fig. 4). Darauf basiert z. B. das im US-Patent 4,756,765 beschriebene Verfahren. Eine weitere Möglichkeit des Laserabtragens von Schichten, z. B. organischer Substanzen von Metalloberflächen besteht darin, Laser kurzer Wellenlänge (UV-Bereich) einzusetzen. Das Abtragen der Schicht basiert dann auf dem Aufbrechen chemischer Bindungen (Photonenenergie ist größer als die Bindungsenergie der chemischen Bindung) (Fig. 5). Dieses Prinzip liegt z. B. dem Patent EP-A 0 233 755 zugrunde.

Die Nachteile des Standes der Technik liegen in der geringen Abtragsrate (Volumen oder Masse/Zeit bzw. Fläche/Zeit), da das Abtragen vor allem bei im Verhältnis zur Wellenlänge des Lasers dicken Schichten immer eine Vielzahl von Laserimpulsen je Wirkstelle voraussetzt.

Desweiteren verringert sich die Chance des schadigungsarmen Abtrages, wenn sich die optischen und/oder thermischen Eigenschaften von Schicht und Untergrund immer mehr annähern.

Diesem Nachteil versucht man teilweise mit On-Line Prozeßkontrolle, wie beispielsweise in der DE 43 20 895 A1 beschrieben, zu begegnen. Neben der Erhöhung des technischen Aufwandes sind Einschränkungen in der Anwendungsbreite als Nachteile zu nennen.

Keine Möglichkeiten für ein selektives Entschichten, und ganz und gar nicht mit selbstregulierender Prozeßbegrenzung gibt es immer dann, wenn der Untergrund gegenüber der verfügbaren Wellenlänge des Lasers eine höhere Absorption und/oder eine niedrigere thermische Zerstörungsschwelle aufweist, als die zu entfernende Schicht. Dieser Nachteil kommt sehr häufig zum Tragen, da die verfügbaren Laserwellenlängen sehr beschränkt sind. Auf dieses Pro-

blem wird auch in den Patentschriften EP 0 380 387 B bzw. DE 690 16 051 hingewiesen und der Einsatz eines wellenlängenabstimmbaren Farblasers zur Erzeugung von Schockwellen zum Abtragen vorgeschlagen. Nachteilig ist dabei, daß bei solch hohen Intensitäten, wie sie zum Hervorrufen von abtragserzeugenden Schockwellen erforderlich sind, die Absorptionseigenschaften eines Materials gegenüber Licht geringerer Intensität eine immer geringere Rolle spielen, da Licht solch hoher Intensität durch nichtlineare Prozesse bei der Wechselwirkung mit Material von nahezu jedem Material absorbiert wird und damit eine Selektivität zwischen Schicht und Untergrund nicht mehr gegeben ist. Ein weiterer Nachteil ist, daß das Farbstofflaserprinzip auch beim heutigen Stand der Technik nicht in der Lage ist, für technische Anwendungen des Laserreinigens ausreichende mittlere Leistungen zu erzeugen. Auch Pulsspitzenleistungen, wie sie das Erzeugen einer Schockwelle erfordern, sind mit Farbstofflasern nicht bzw. nur mit hohem Aufwand möglich. Desweiteren wird in der Patentschrift DE 690 16 051 vorausgesetzt, daß die Absorptionsspektren von Schicht und verschmutztem Material bekannt sind, was jedoch für viele Materialien in den in Frage kommenden Wellenlängenbereichen gegenwärtig jedoch meist nicht der Fall ist.

Es ist nun Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zum selektiven Abtragen einer oder mehrerer Schichten vorzuschlagen, mit dem die genannten Nachteile des Standes der Technik überwunden werden.

Demgemäß besteht die Aufgabe der Erfindung insbesondere darin, ein Verfahren der genannten Art anzugeben, mit dem die Abtragsrate erhöht und die Selektivität zwischen abzutragender Schicht bzw. Schichten und zu erhaltendem Untergrund bzw. zu erhaltender einer oder mehreren weiteren Schicht deutlich verbessert wird.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe mit einem Verfahren gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 25 gelöst.

Dabei wird das Verfahren mittels Laser bzw. Lasersystemen mit selbstregulierender Prozeßbegrenzung durchgeführt. Dieses Verfahren zeichnet sich erfindungsgemäß dadurch aus, daß das Abtragen während kurzer (vorzugsweise im  $\mu$ s-Bereich oder darunter) Wechselwirkungszeiten mit Laserlicht einer solchen Wellenlänge durchgeführt wird, daß das Laserlicht von dem einen Teil des Gesamtverbundes (entweder der abzutragenden Schicht bzw. Schichten oder dem zu erhaltenden Untergrund bzw. der zu erhaltenden einen oder mehreren weiteren Schicht) so stark absorbiert wird, daß die Abtragsschwelle (vorzugsweise Verdampfungs- und/oder Zersetzungsschwelle) des jeweiligen Materials überschritten wird und daß die Absorption des Laserlichtes bei gleicher Intensität von dem jeweiligen anderen Teil des Gesamtverbundes (entweder dem zu erhaltenden Untergrund bzw. der zu erhaltenden einen Schicht oder mehreren weiteren Schichten oder der abzutragenden Schicht bzw. Schichten) so gering ist, daß eben diese Abtragsschwelle nicht erreicht wird.

Der spezifische Vorteil des Laserabtragens, der hierbei genutzt wird ist der, daß es zu einer selbstregulierenden Prozeßbegrenzung und damit zur Verhinderung einer Schädigung des zu erhaltenden Untergrundes kommt, wenn dieser die Wellenlänge der einfallenden Laserstrahlung weniger absorbiert als die zu entfernende Schicht und die Energiedichte des Laserstrahles so eingestellt wird, daß sie zwischen den Schwellenergiedichten der Schicht und des Untergrundes liegt ( $E_{\text{SchwellSchicht}} < E_{\text{Laser}} < E_{\text{SchwellUntergrund}}$ ). Die Verdampfungsschwelle, z. B. des Untergrundes, wird somit nicht mehr erreicht, da der überwiegende Anteil der einfallenden Strahlung entweder in einem so großen Volumen absorbiert wird, daß die auf das Untergrundmaterialvolumen bezogenen Energiedichten zum Abtrag nicht mehr



ausreichen oder der Hauptanteil des eingestrahnten Laserlichtes vom Untergrund reflektiert bzw. durch diesen hindurchgelassen wird.

Eine vorteilhafte Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht vor, daß man zunächst die optischen Eigenschaften der abzutragenden Schicht bzw. Schichten und des jeweiligen zu erhaltenden Untergrundes bzw. der zu erhaltenden einen Schicht oder mehreren weiteren Schichten in Abhängigkeit von der Wellenlänge des Laserlichtes ermittelt, z. B. durch Bestimmung der wellenlängenabhängigen optischen Konstanten mittels spektroskopischer Methoden. Aus den daraus berechneten Absorptionskoeffizienten wird der Wellenlängenbereich ermittelt, für den die dargelegten Bedingungen für eine selbstregulierende Prozeßbegrenzung zutreffen. Anschließend erfolgt der Abtrag bei sehr kurzen Wechselwirkungszeiten mit Laserlicht dieser Wellenlänge.

Die genannten Prozeßschritte des erfindungsgemäßen Verfahrens können diskontinuierlich oder auch kontinuierlich erfolgen.

Kurze Wechselwirkungszeiten können durch Kurzpulslaser und/oder durch sehr hohe Relativgeschwindigkeiten zwischen Laserstrahl und Materialoberfläche erreicht werden.

Eine spezielle Ausführungsvariante des Verfahrens ist die Erzeugung der kurzen Lichtpulse mittels eines wellenlängenabstimmbaren Lasersystems, z. B. eines Nd:YAG-OPO-Systems.

Eine Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht vor, daß an der Grenze zwischen abzutragender Schicht bzw. Schichten und zu erhaltendem Untergrund bzw. der zu erhaltenden einen oder mehreren weiteren Schicht eine geringe, hinsichtlich der Oberflächeneigenschaften zu keiner nachteiligen Eigenschaftsveränderung führende Materialmenge der zu entfernenden Schicht oder des Untergrundes schlagartig durch Laserstrahlung hoher Energie bei kurzen Einwirkzeiten von vorzugsweise  $< 1 \mu\text{s}$  verdampft wird.

Durch den expandierenden Dampf an der Grenze zwischen den Oberflächen der Schicht und des Untergrundes wird die darüberliegende Schicht abgesprengt. Dünne Schichten können auch ausschließlich verdampft werden.

Ein Prinzip dieser Variante der erfindungsgemäßen Lösung ist in Fig. 6 dargestellt. Die laterale Ausdehnung der Wirkstelle läßt sich durch die Größe des Arbeitsfleckes des Laserstrahles (Wirkfleckdurchmesser), z. B. durch Fokussierung bzw. Defokussierung festlegen, so daß in Abhängigkeit von der Dicke der zu entfernenden Schicht auch sehr filigrane Strukturen abgetragen werden können. Es ist dabei von Vorteil, daß sowohl ein geringes Volumen der zu entfernenden Schicht als auch des zu erhaltenden Untergrundes zum Abtrag genutzt werden kann.

Lediglich eine Komponente des Schichtsystems braucht für die benutzte Laserstrahlung eine höhere Transmission als die andere aufzuweisen, d. h. für einen Teil der Laserstrahlung durchlässiger sein. Dies wird durch Auswahl geeigneter Lasersysteme, deren Wellenlänge dieser Bedingung genügen, erreicht. Neben Lasern fester Wellenlänge können auch hier wellenlängenabstimmbare Systeme, z. B. Nd:YAG-Laser mit OPO, vorteilhaft zum Einsatz kommen. Die Sprengwirkung bei dem Prinzip des Abtrages nach Fig. 6 wird gegebenenfalls noch durch die infolge Absorption eines Teiles der Laserpulsenergie stattfindenden Aufheizung des Dampfes weiter verstärkt.

Der Vorteil der erfindungsgemäßen Lösung besteht insbesondere darin, daß für nahezu alle technischen Schichtsysteme somit die Bedingungen für völlig risikoarmen Laserabtrag einstellbar sind, die Durchführung des Verfahrens in einem weit größerem Parameterbereich möglich ist und der Aufwand für one-line-Prozeßkontrolle wegfallen kann.

Ebenso ist damit das Laserabtragen und Laserreinigen problemlos und risikoarm im Bereich der Denkmalpflege möglich. Für die Denkmalpflege geeignete Geräte sollten zur freien Bewegung des Laserstrahles entsprechend der Oberflächentopographie des zu bearbeitenden Gegenstandes mit einem Gelenkarm oder mit einer oder mehreren Lichtleitfasern zur Strahlübertragung ausgerüstet sein. Bei wellenlängenabstimmbaren Geräten ist dabei die Notwendigkeit der Anpaßbarkeit der Strahlführung an die unterschiedlichen Wellenlängen zu beachten, z. B. durch auswechselbare Spiegelsätze im Gelenkarm oder durch mehrere Lichtleitfasern.

Das erfindungsgemäße Verfahren soll anhand der nachfolgenden Ausführungsbeispiele näher erläutert werden.

### 1. Ausführungsbeispiel

Das Prinzip dieses Ausführungsbeispiels ist in Fig. 7 skizziert.

Auf einer Holztafel (1) mit der Dicke (2) befindet sich eine aufgetragene Schicht (3) mit der Schichtdicke (4), die entfernt werden soll. Bei der Bestrahlung mit einem Nd:YAG-Impulslaserstrahl (5) mit einer Pulslänge von 6 ns, einer Pulsenergie von 300 mJ, einer Frequenz von 20 Hz und einem Arbeitsfleckdurchmesser (6) von  $d_w = 4 \text{ mm}$  nach der in diesem Ausführungsbeispiel (ausschließlich Fig. 7) gezeigten Verfahrensvariante wird die Schicht nach einer Anzahl von ca. 30 Impulsen, d. h. in einer Zeit von ca. 1,5 s, scheibchenweise bis zur Oberfläche (7) der Holztafel abgetragen. Der Durchmesser der abgetragenen Fläche (8) entspricht etwa dem Arbeitsfleckdurchmesser. Ein Abtrag der Holzoberfläche erfolgt aufgrund der geringen Absorption und der hohen Reflexion des Holzes für die Wellenlänge des Nd:YAG-Lasers ( $\lambda = 1064 \text{ nm}$ ) nicht.

### 2. Ausführungsbeispiel

Das Prinzip dieses Ausführungsbeispiels ist in Fig. 7 und Fig. 8 skizziert.

Auf einer Glasscheibe (1) mit der Dicke (2) befindet sich eine aufgetragene Schicht (3) mit der Schichtdicke (4). Bei der Bestrahlung mit einem Nd:YAG-Impulslaserstrahl (5) mit einer Pulslänge von 6 ns, einer Pulsenergie von 260 mJ, einer Frequenz von 20 Hz und einem Arbeitsfleckdurchmesser (6) von  $d_w = 2 \text{ mm}$  nach der in Fig. 7 gezeigten Verfahrensvariante, wird die Schicht nach einer Anzahl von ca. 20 Impulsen, d. h. in einer Zeit von ca. 1 s, scheibchenweise bis zur Oberfläche (7) der Glasscheibe abgetragen. Der Durchmesser der abgetragenen Fläche (8) entspricht etwa dem Arbeitsfleckdurchmesser. Ein Abtrag der Glasoberfläche erfolgt aufgrund der hohen Transmission des Glases für die Wellenlänge des Nd:YAG-Lasers nicht.

Bei Anwendung der erfindungsgemäßen Verfahrens erfolgt die Laserbehandlung durch die Glasscheibe hindurch mit den gleichen Strahlparametern wie in Fig. 7, jedoch nur mit einer Pulsenergie von 250 mJ. Durch das Verdampfen einer geringen Materialmenge zwischen der Schicht oberhalb der Glasoberfläche (7) und der Glasoberfläche erfolgt ein Absprengen der gesamten Schicht in einem Durchmesserbereich (9), der je nach Sprödigkeit der Schicht geringfügig oder sogar deutlich über dem des Arbeitsfleckdurchmessers (6) liegt (vgl. Fig. 8). Die Abtragsrate wird folglich um mehr als den Faktor 20 bei gleicher Qualität gesteigert.

### Bezugszeichenliste

- 1 Grundsubstrat
- 2 Dicke des Grundsubstrates

- 3 Schicht auf dem Grundsubstrat
- 4 Schichtdicke von 3
- 5 Impulslaserstrahl
- 6 Arbeitsfleckdurchmesser des Impulslaserstrahles
- 7 Oberfläche des Grundsubstrates
- 8 Durchmesser der abgetragenen Fläche
- 9 Durchmesserbereich der abgesprengten Schicht

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum selektiven Abtragen einer oder mehrerer Schichten von einem zu erhaltenden Untergrund oder einer oder mehrerer zu erhaltender weiterer Schichten mittels Laser mit selbstregulierender Prozeßbegrenzung, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Abtragen während kurzer Wechselwirkungszeiten mit Laserlicht einer solchen Wellenlänge durchgeführt wird, daß das Laserlicht von der einen abzutragenden Schicht oder mehreren abzutragenden Schichten oder dem zu erhaltenden Untergrund bzw. der zu erhaltenden einen Schicht oder mehreren weiteren Schichten so stark absorbiert wird, daß die Abtragschwelle des jeweiligen Materials der abzutragenden Schicht bzw. Schichten oder des zu erhaltenden Untergrundes bzw. der zu erhaltenden einen oder mehreren weiteren Schichten überschritten wird, und daß die Absorption des Laserlichtes bei gleicher Intensität von dem jeweiligen anderen Teil (entweder dem zu erhaltende oder dem abzutragende Teil) des Gesamtverbundes so gering ist, daß die Abtragschwelle dieses jeweiligen Materials nicht erreicht wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die optischen Kennwerte vor dem Abtrag am realen Objekt bestimmt werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die optischen Kennwerte während des Abtrages am realen Objekt bestimmt werden.
4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die optischen Kennwerte mittels spektroskopischer Methoden und Verfahren bestimmt werden.
5. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Abtragschwelle von den Verdampfungs- bzw. thermischen Zersetzungsschwellen bestimmt wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Abtragschwelle von den Verdampfungsschwellen bestimmt wird.
7. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Wellenlänge des Laserlichtes auf die Absorptionseigenschaften des Schichtsystems und des Untergrundes durch den Einsatz eines oder mehrerer wellenlängenabstimmbarer Lasersysteme abgestimmt wird.
8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die kurzen Wechselwirkungszeiten mit Laserlicht mittels eines Impulslasers erzielt werden.
9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß Impulslaser mit einer Pulsdauer  $< 1 \mu s$  eingesetzt werden.
10. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die kurzen Wechselwirkungszeiten mit Laserlicht durch hohe Relativgeschwindigkeiten zwischen Laserstrahl und Material erreicht werden.
11. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß cw-Laser in Verbindung mit sehr hohen Relativgeschwindigkeiten zwischen Laserstrahl und Werkstückoberfläche zur Erzielung der notwendigen kurzen

Wechselwirkungszeiten mit Laserlicht eingesetzt werden.

12. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß als wellenlängenabstimmbares Lasersystem ein mittels Festkörperlaser gepumpter Optischer Parametrischer Oszillator (OPO) eingesetzt wird.

13. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Abtragung der einen oder mehreren Schichten erreicht wird, indem während der Einwirkzeit des Lasers auf die Oberfläche der abzutragenden Schicht bzw. Schichten die Schicht bzw. die Schichten in einem oder mehreren Schritten durch Verdampfung abgetragen werden.

14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Abtragung erreicht wird, indem der Laserstrahl auf die Oberfläche der abzutragenden Schicht bzw. Schichten mehrfach einwirkt und diese Schicht bzw. Schichten in mehreren Einzelschritten verdampft werden, dergestalt, daß mit jeder einzelnen Einwirkzeit des Lasers auf die Oberfläche der abzutragenden Schicht bzw. Schichten diese Schicht bzw. Schichten schrittweise mit Verdampfungstiefen im Submikrometerbereich abgetragen werden.

15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die abzutragende Schicht bzw. Schichten schrittweise mit Verdampfungstiefen  $< 20 \mu m$  abgetragen werden.

16. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß an der Grenze zwischen der einen oder mehreren abzutragenden Schichten und dem zu erhaltenden Untergrund bzw. der zu erhaltenden einen oder mehreren weiteren Schicht eine kleine Materialmenge entweder der abzutragenden Schicht bzw. Schichten bzw. des zu erhaltenden Untergrundes bzw. der zu erhaltenden einen oder mehreren weiteren Schicht schlagartig verdampft wird und die abzutragende Schicht bzw. Schichten: die die geringere Festigkeit als der zu erhaltende Untergrund haben muß, durch den expandierenden Dampf abgesprengt wird.

17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Materialmenge, die an der Grenze zwischen der abzutragenden Schicht bzw. Schichten und dem zu erhaltenden Untergrund bzw. der zu erhaltenden einen oder mehreren weiteren Schicht verdampft wird, nicht größer als 1 mg ist.

18. Verfahren nach Anspruch 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, daß der zu erhaltende Untergrund und/oder die zu erhaltende eine oder mehrere weitere Schicht für einen zur Verdampfung der geringen Materialmenge der abzutragenden Schicht bzw. Schichten ausreichenden Anteil der Laserstrahlung transparent ist und somit der Laserstrahl bzw. der ausreichende Anteil davon durch den zu erhaltenden Untergrund und/oder die zu erhaltende eine oder mehrere weitere Schicht auf die daran angrenzende Seite der abzutragenden Schicht bzw. Schichten geführt wird und dort für die Verdampfung der kleinen Materialmenge der abzutragenden Schicht bzw. Schichten sorgt.

19. Verfahren nach Anspruch 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, daß die abzutragende Schicht bzw. Schichten für einen zur Verdampfung der kleinen Materialmenge des zu erhaltenden Untergrundes bzw. der zu erhaltenden einen oder mehreren weiteren Schicht ausreichenden Anteil der Laserstrahlung transparent ist und somit der Laserstrahl bzw. der ausreichende Anteil davon durch die abzutragende Schicht bzw. Schichten auf die daran angrenzende Seite des zu erhaltenden Un-

tergrundes bzw. der zu erhaltenden einen oder mehreren weiteren Schicht geführt wird und dort für die Verdampfung der kleinen Materialmenge des zu erhaltenden Untergrundes bzw. der einen oder mehreren zu erhaltenden weiteren Schicht sorgt. 5

20. Verfahren nach Anspruch 16, 17, 18 oder 19, dadurch gekennzeichnet, daß der Dampf, der aus der verdampften kleinen Materialmenge resultiert, zusätzlich aufgeheizt und dadurch die Abtragsrate weiter erhöht wird. 10

21. Verfahren nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß der Dampf durch einen Teil der im Dampf absorbierten Energie aufgeheizt wird.

22. Verfahren nach Anspruch 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, daß die zum Abtragen der Schicht bzw. 15 Schichten erforderliche Verdampfung der kleinen Materialmenge durch Erwärmen einer für die Laserstrahlung nicht transparenten, aber gut wärmeleitenden Schicht, deren Verdampfungs- bzw. Zersetzungstemperatur deutlich höher als die der anderen Schicht bzw. 20 Schichten bzw. des Untergrundes ist, erfolgt, die Wärmeenergie mittels Laser zugeführt, durch Wärmeleitung an die Schicht bzw. Untergrund mit der geringeren Verdampfungs- bzw. Zersetzungstemperatur transportiert und durch die Dampfbildung die abzutragende 25 Schicht abgesprengt wird.

23. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß das Verfahren zum selektiven Abtragen einer oder mehrerer Schichten kontinuierlich geführt wird. 30

24. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß das Verfahren mit Lasersystemen durchgeführt wird, die zur Strahlübertragung feste und/oder um die Strahlachse drehbare Spiegel benutzen, deren Reflektivität auf die 35 jeweilige Wellenlänge abgestimmt wird oder für die Wellenlänge optimierte Lichtleitfasern besitzen.

25. Verfahren nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, daß das Verfahren mittels Nd:YAG-Laser gepumpten OPO-System mit einem Wellenlängenabstimmbereich von  $400 < \lambda < 2000$  nm mit Gelenkarm und auswechselbaren Spiegeln ohne Nachjustage durchgeführt wird. 40

---

Hierzu 7 Seite(n) Zeichnungen

---

45

50

55

60

65

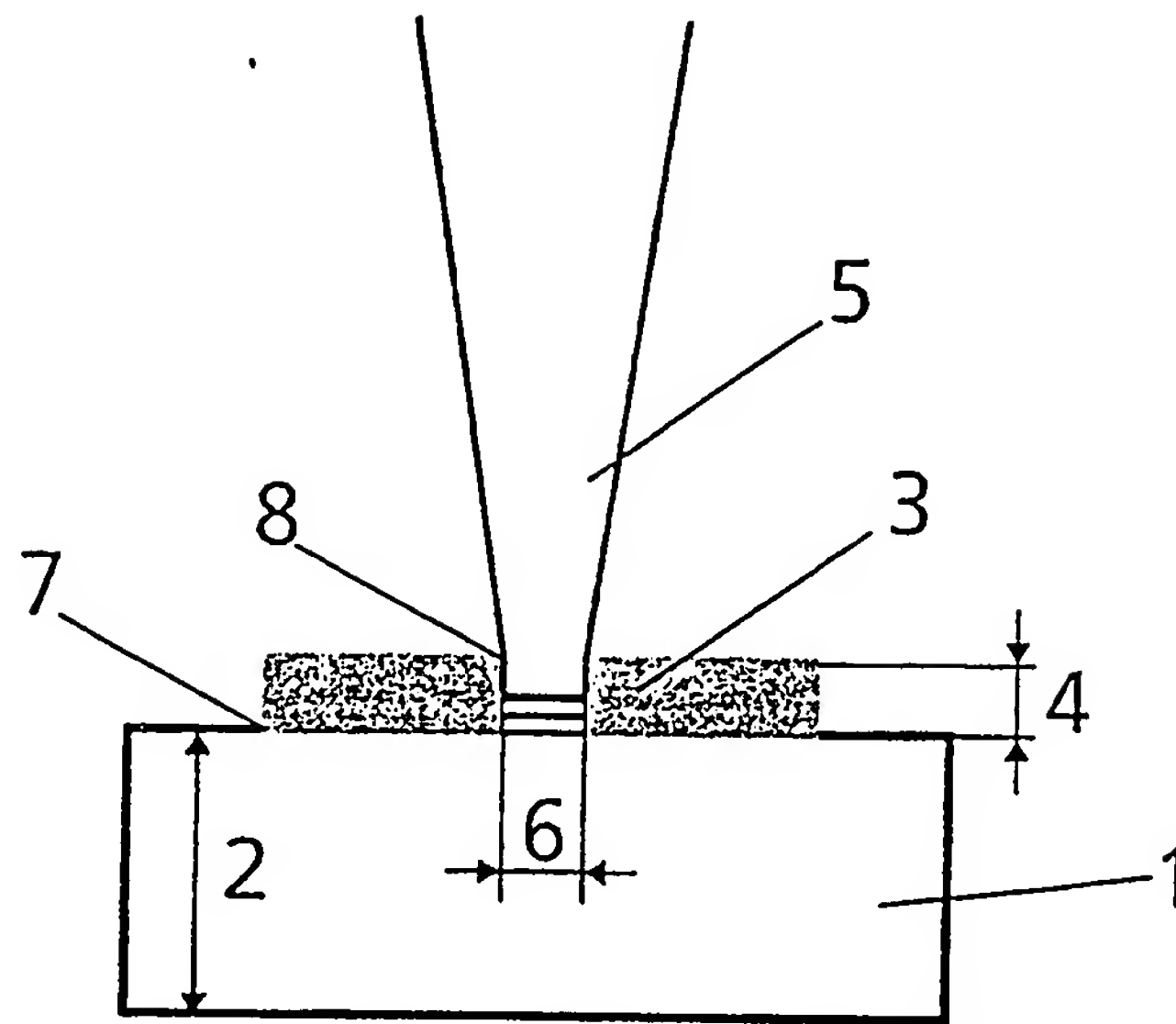


Fig. 7

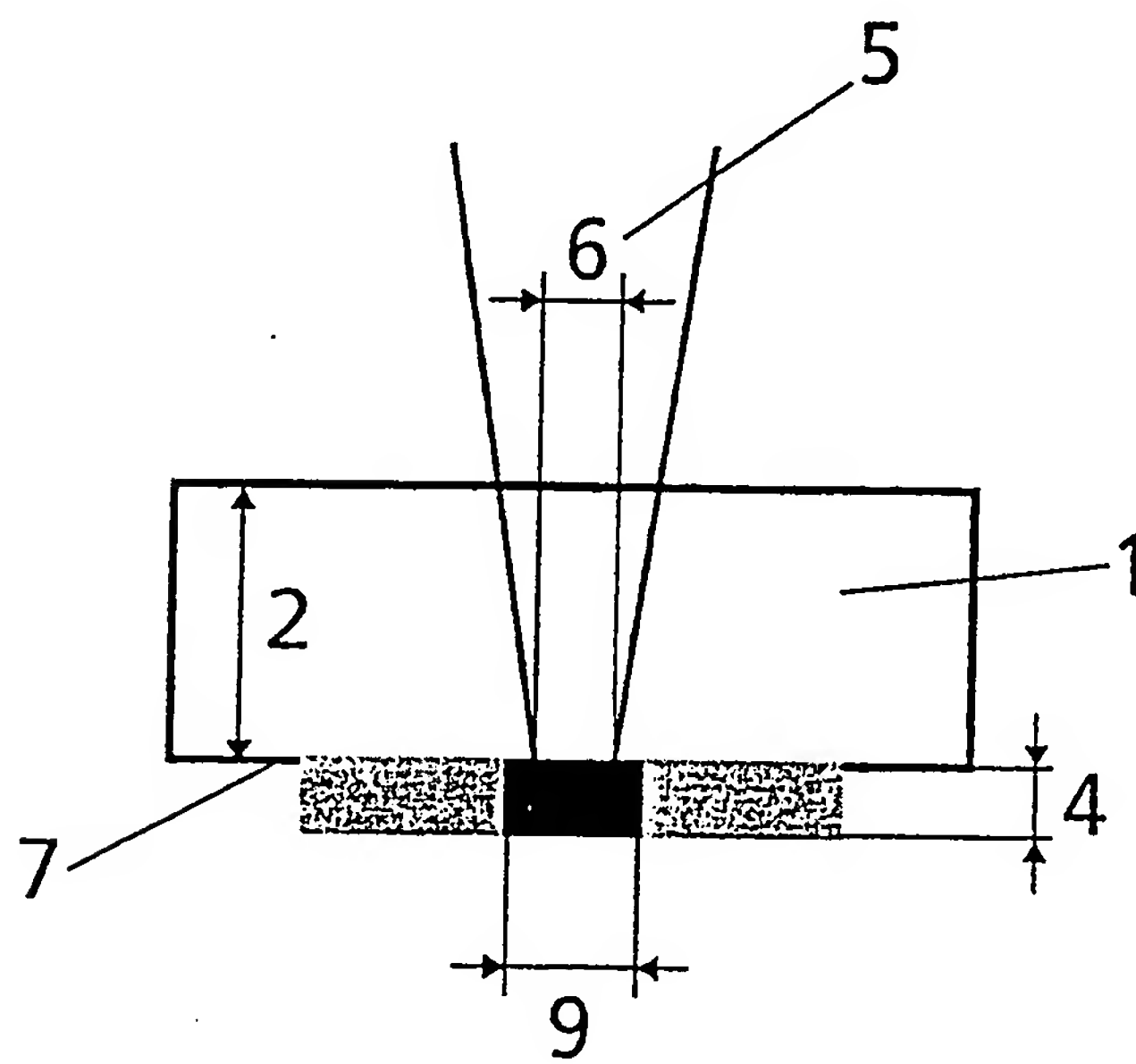


Fig. 8



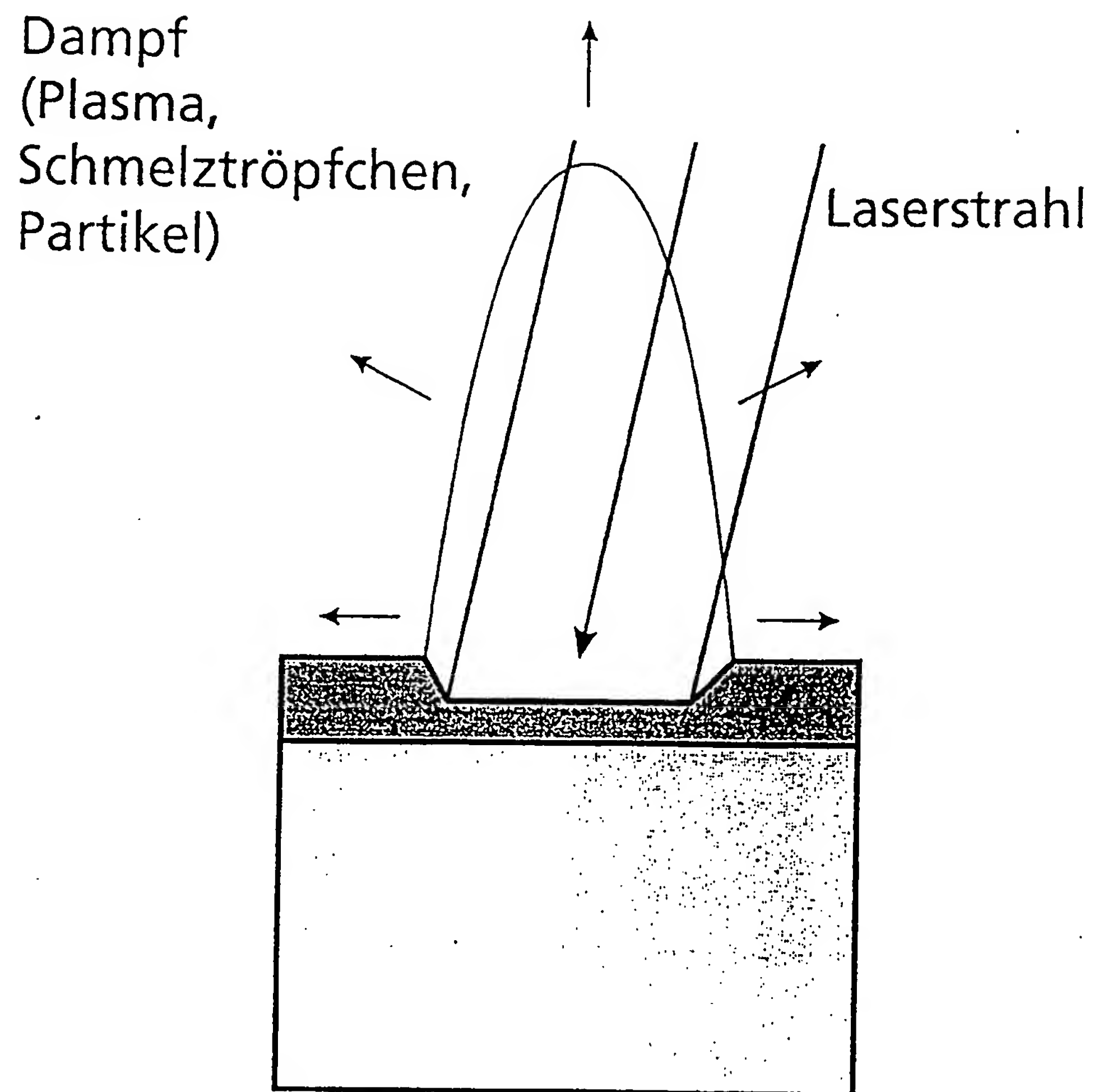


Fig. 1: Grundprinzip Laserabtragen / Reinigen



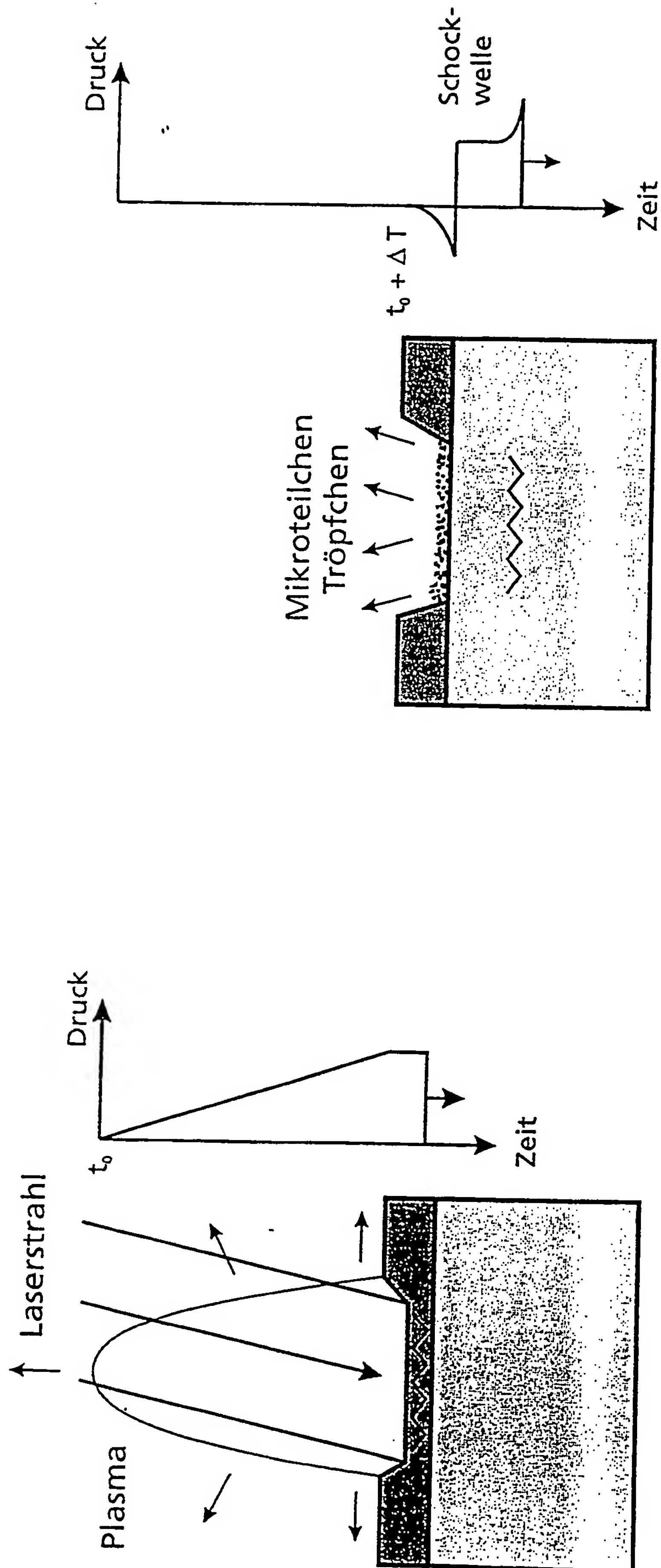
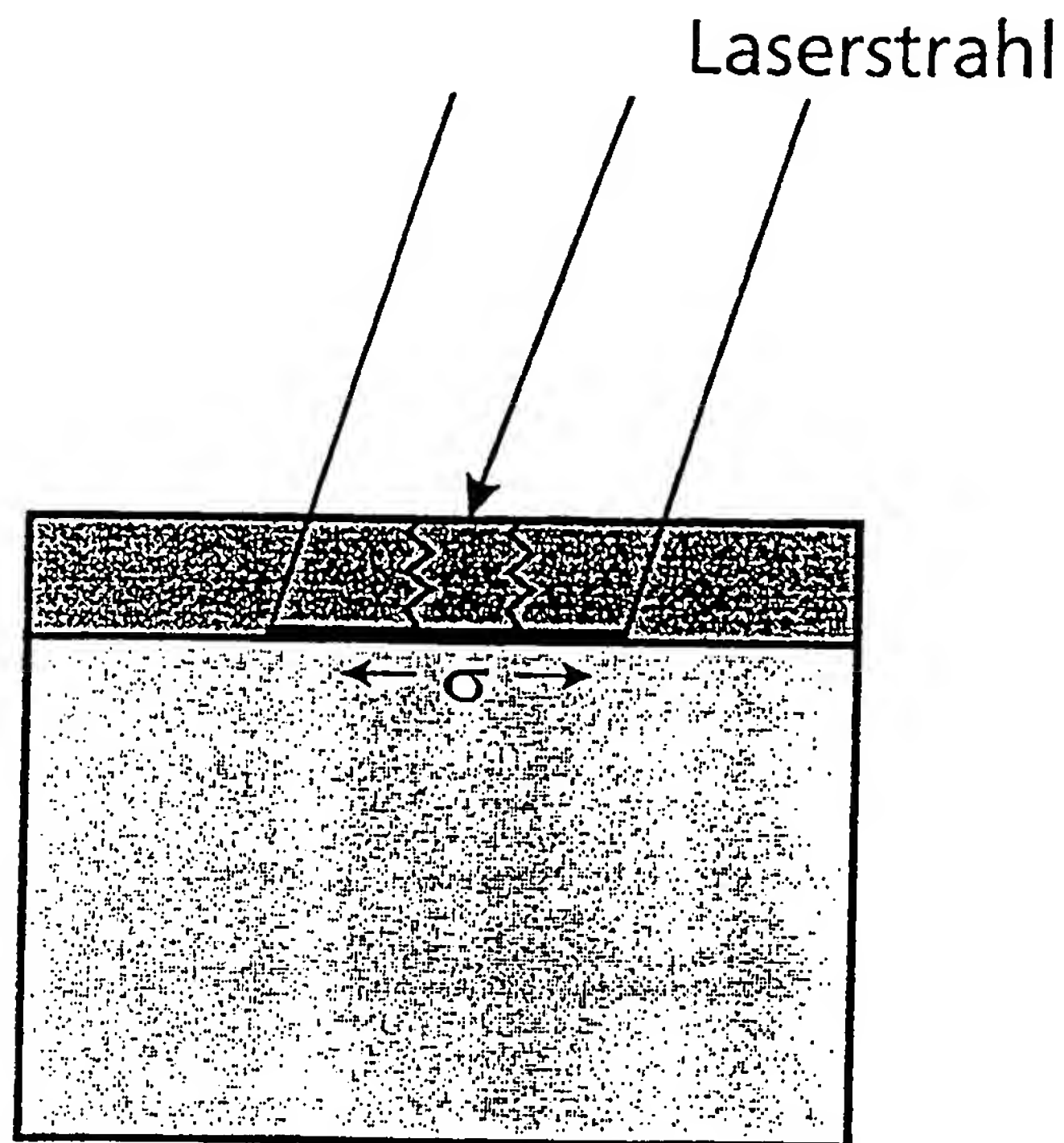
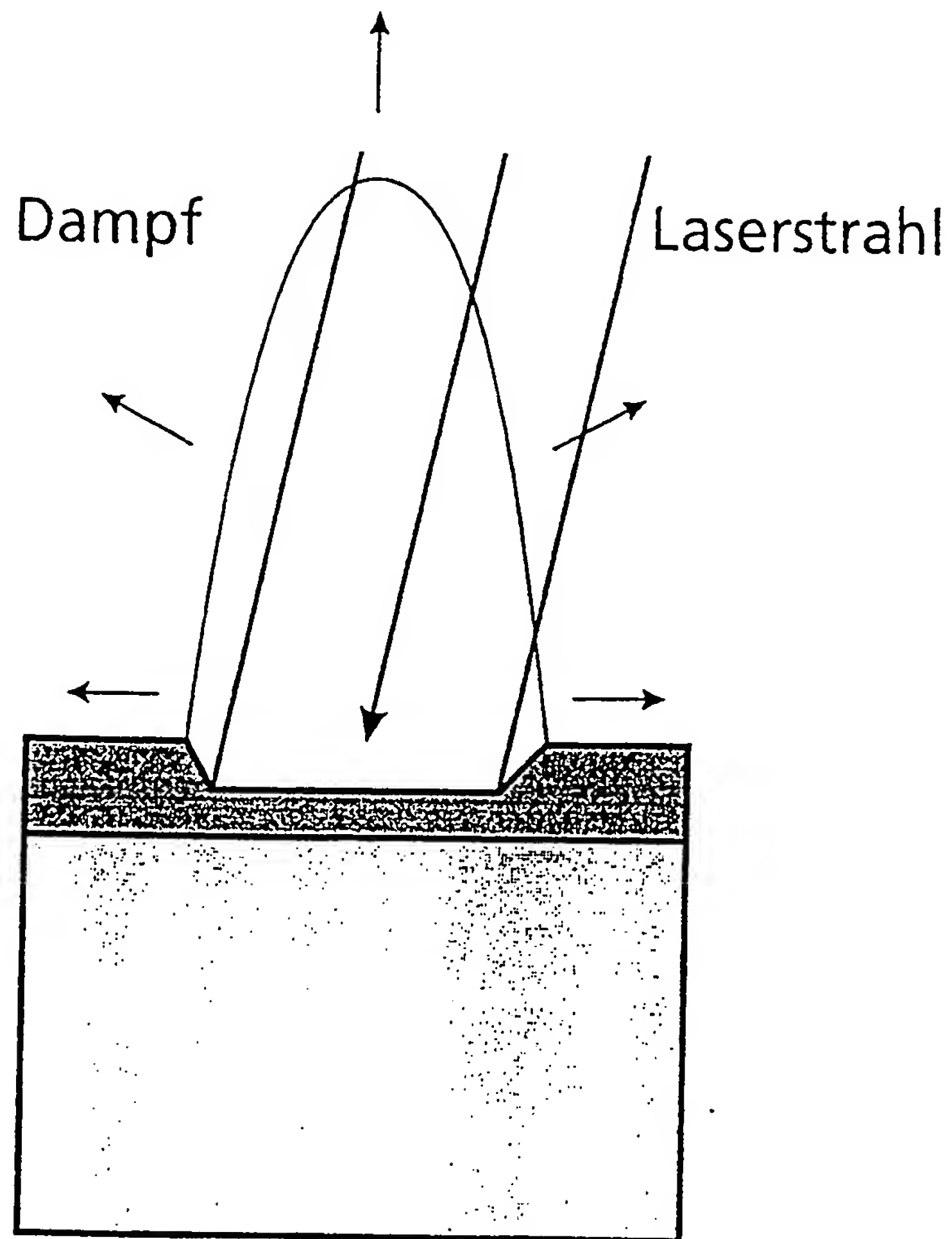


Fig. 2: Mechanisch unterstützter Abtrag



$$\alpha_{\text{Schicht}} \gg \alpha_{\text{Untergrund}}$$
$$(\alpha_{\text{Schicht}} \ll \alpha_{\text{Untergrund}})$$

Fig. 3: Abtrag durch thermisch induzierte Spannung  $\sigma$  zwischen Schicht und Untergrund infolge unterschiedlicher Wärmeausdehnung  $\alpha$



$$T_{V, \text{Schicht}} \ll T_{V, \text{Untergrund}}$$

Fig. 4: Abtragen durch unterschiedliche Verdampfungs- bzw. Zersetzungstemperatur  $T_v$  von Schicht und Untergrund

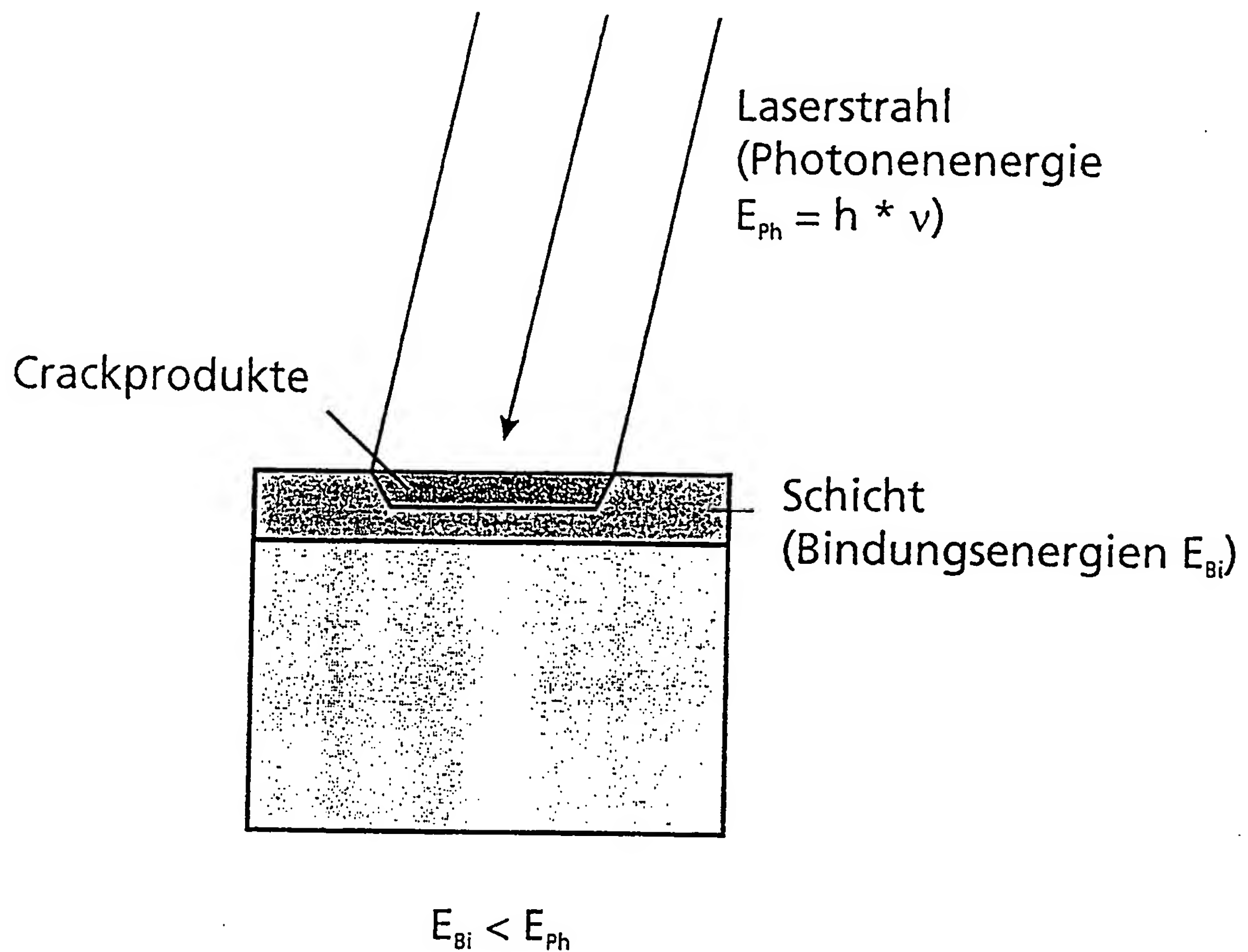
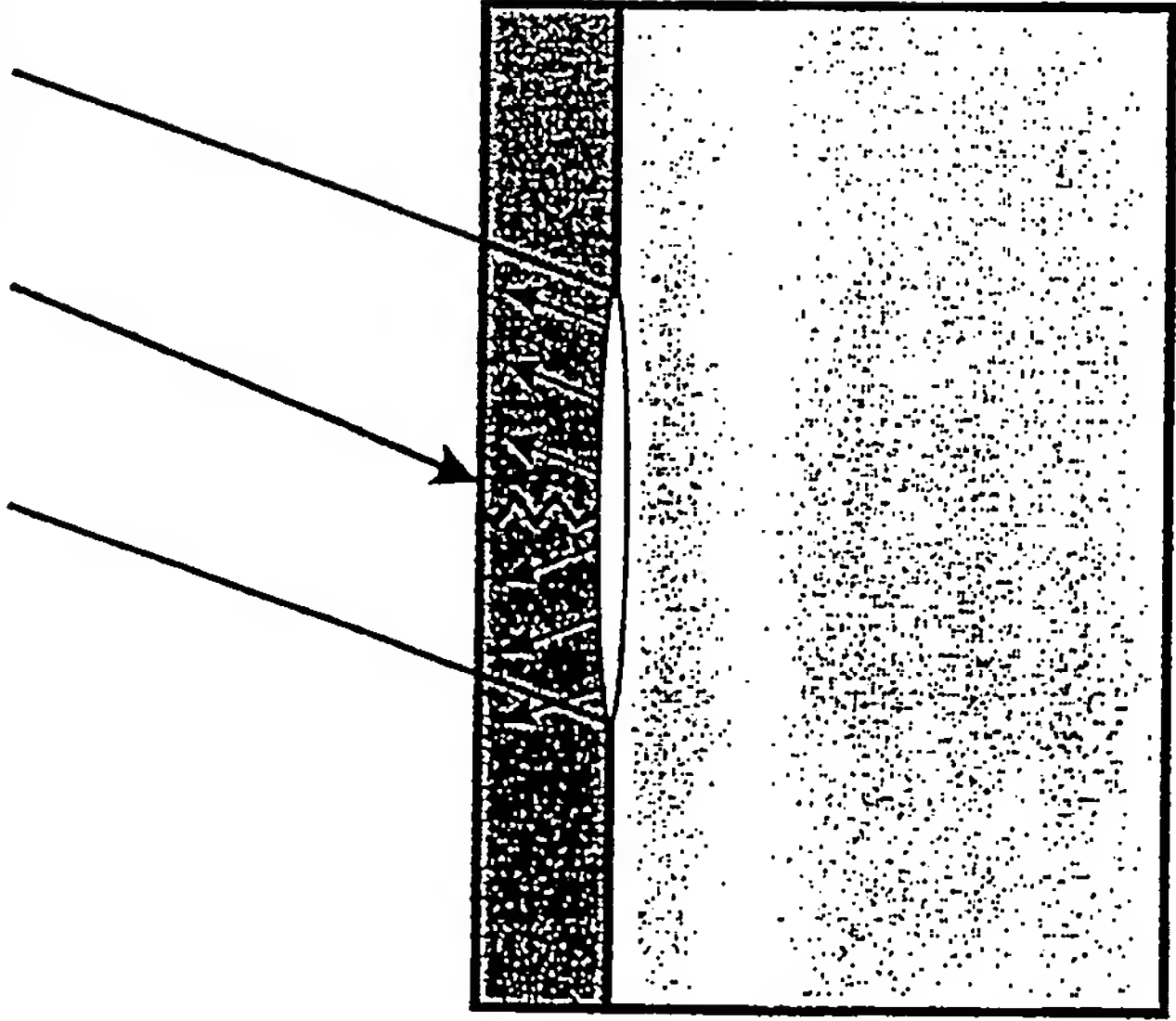


Fig. 5: Photochemischer Abtrag durch Aufbrechen chemischer Bindungen in der Schicht

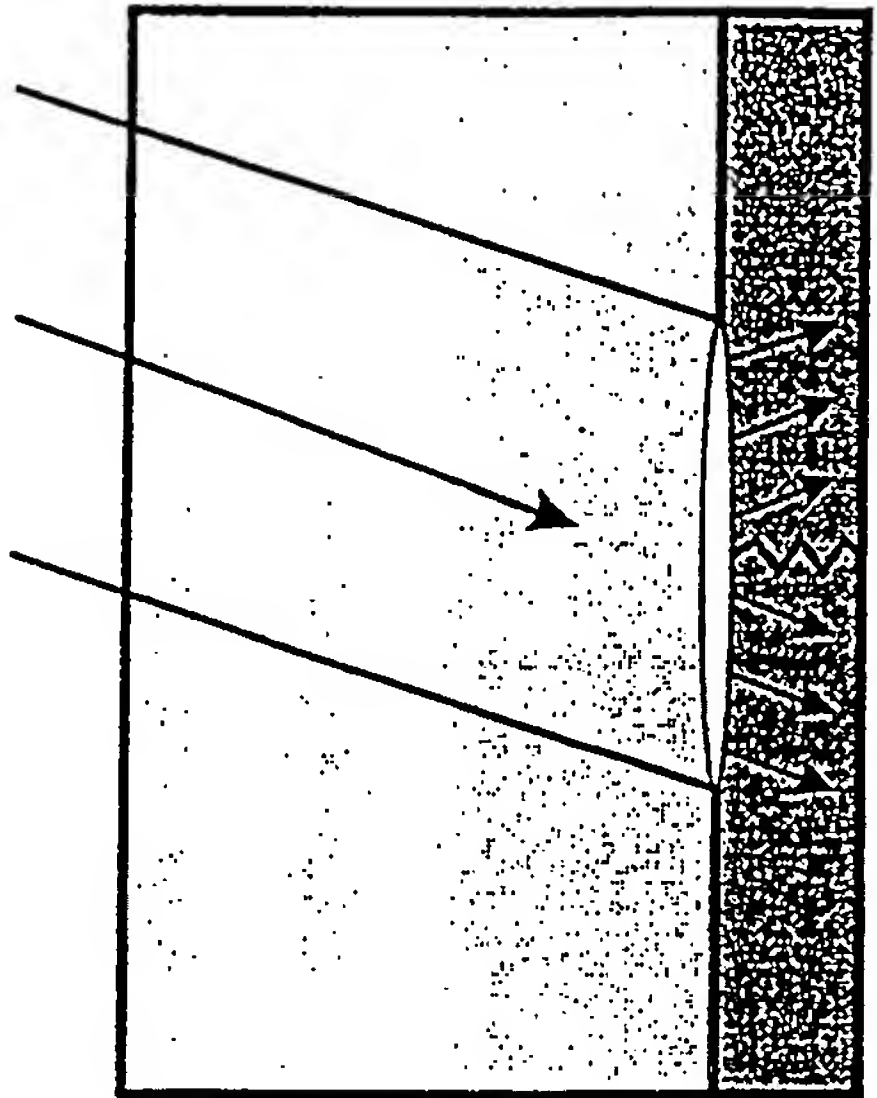


Laserstrahl



$A_{\text{Schicht}} \ll A_{\text{Untergrund}}$

Laserstrahl



$A_{\text{Schicht}} \gg A_{\text{Untergrund}}$

Fig. 6: Abtrag durch expandierenden Dampf zwischen Schicht und Untergrund (A - Absorption)